

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-063844

(43)Date of publication of application : 07.03.1997

(51)Int.Cl.

H01F 10/16
H01F 10/26
H01F 17/00

(21)Application number : 07-214876

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 23.08.1995

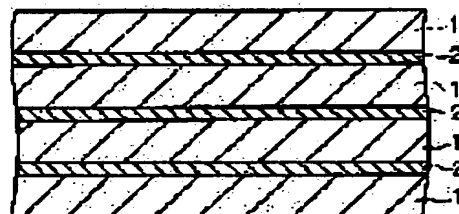
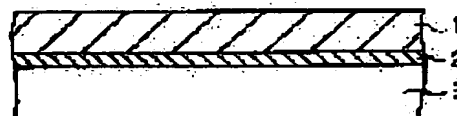
(72)Inventor : TOMITA HIROSHI
MIZOGUCHI TETSUHIKO

(54) MULTILAYERED MAGNETIC FILM AND THIN FILM MAGNETIC ELEMENT EMPLOYING IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a multilayered magnetic film including an insulation layer of low resistivity and low permittivity by providing a magnetic layer exhibiting uniaxial magnetic anisotropy in the plane, and an insulation layer principally comprising Mg and O abutting against the magnetic layer.

SOLUTION: An insulation layer 2 principally comprising Mg and O is provided while abutting against a magnetic layer 1 exhibiting uniaxial magnetic anisotropy in the plane. The magnetic layer 1 exhibiting uniaxial magnetic anisotropy in the plane and the Mg-O based insulation layer 2 are laminated repetitively to produce a multilayer magnetic film. In each magnetic film, an amorphous magnetic layer containing Fe, Co, B and a group 4b element as principal constituents, or a magnetic layer comprising a mixed phase of microcrystalline phase and amorphous phase is employed as the magnetic layer 1. Consequently, a multilayer magnetic film subjectable to wet etching can be obtained while imparting and controlling the high saturation magnetization, low loss, and in-plane uniaxial anisotropy.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 21.03.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 22.04.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-63844

(43) 公開日 平成9年(1997)3月7日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 F	10/16		H 0 1 F	10/16
	10/26			10/26
	17/00			17/00
				D

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平7-214876

(22) 出願日 平成7年(1995)8月23日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 富田 宏

神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東芝
芝堀川町工場内

(72) 発明者 溝口 徹彦

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

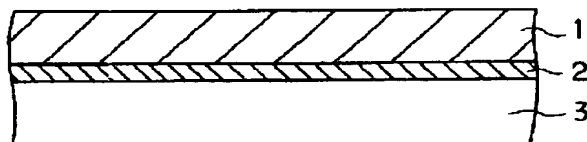
(74) 代理人 弁理士 須山 佐一

(54) 【発明の名称】 積層磁性膜およびそれを用いた薄膜磁気素子

(57) 【要約】

【課題】 積層磁性膜を構成する層間絶縁層には、量産性等に優れたウエットエッチングへの適合性と、磁性層との優れた非反応性の双方が要求されているが、これら要求特性を全て満足するまでには至っていない。

【解決手段】 主構成元素としてFe、Co、Bおよび4B族元素を含有する磁性材料等からなる面内で一軸磁気異方性を有する磁性層1と、この磁性層1に当接して積層配置されたMgおよびOを主成分とする絶縁層2とを、例えば順に繰り返し積層して構成した積層磁性膜である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 面内で一軸磁気異方性を有する磁性層と、前記磁性層に当接して積層配置されたMgおよびOを主成分とする絶縁層とを具備することを特徴とする積層磁性膜。

【請求項2】 主構成元素としてFe、Co、Bおよび4B族元素を含有する磁性層と、前記磁性層に当接して積層配置されたMgおよびOを主成分とする絶縁層とを具備することを特徴とする積層磁性膜。

【請求項3】 請求項1または請求項2記載の積層磁性膜において、

前記MgおよびOを主成分とする絶縁層は、MgとOのモル比が

$$0.9 \leq (\text{Mgのモル数}) / (\text{Oのモル数}) \leq 1.1$$

であることを特徴とする積層磁性膜。

【請求項4】 請求項1または請求項2記載の積層磁性膜において、

前記MgおよびOを主成分とする絶縁層は、Mg以外の金属元素およびO以外の非金属元素から選ばれる少なくとも

1種の添加元素を含有し、かつ前記添加元素の組成比の総和が前記Mgの組成比未満であると共に、前記Oを含む非金属元素の各元素のイオン原子価の絶対値とモル濃度の積の総和が前記Mgを含む金属元素の各元素のイオン原子価とモル濃度の積の総和以下であることを特徴とする積層磁性膜。

【請求項5】 請求項4記載の積層磁性膜において、前記MgおよびOを主成分とする絶縁層は、FeおよびCoから選ばれる少なくとも1種の前記添加元素を含有することを特徴とする積層磁性膜。

【請求項6】 請求項1ないし請求項5のいずれが1項記載の積層磁性膜において、前記磁性層の厚さが0.5～5μmの範囲であると共に、前記MgおよびOを主成分とする絶縁層の厚さが50～1000nmの範囲であることを特徴とする積層磁性膜。

【請求項7】 請求項1または請求項2記載の積層磁性膜を構成要素として具備することを特徴とする平面型磁気素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、薄膜インダクタや薄膜トランス等に用いられる積層磁性膜、およびそれを用いた平面型磁気素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、各種電子機器の小型化が盛んに進められているが、電子機器の電源部の小型化はそれに比較して遅れている。このため、電源部が機器全体に占める容積比率は増大する一方である。電子機器の小型化は各種回路のLSI化によるところが大きいが、電源部に必須であるインダクタやトランス等の磁気部品については小型化・集積化が遅れており、これが容積比率増大

の主因となっている。

【0003】このような課題を解決するために、平面コイルと磁性膜とを組合せた平面型の磁気素子（薄膜磁気素子）が提案され、その高性能化の検討が進められている。これらに用いられる磁性薄膜には、1MHz以上の高周波数領域において、低損失かつ高飽和磁化であることが要求される。ところで、高周波数領域では透磁率は主に回転磁化過程によって賄われる。理想的な回転磁化過程を得るためには、一様な面内一軸磁気異方性の下での磁化困難軸方向の励磁が必要であり、磁化困難軸方向の透磁率および保磁力等が重要な物性値になる。

【0004】高周波透磁率は試料の様々な物性と複雑に関連した量であるが、最も相関が高いものとして異方性磁場が挙げられ、高周波透磁率は概ね異方性磁場の逆数に比例する。薄膜インダクタ等の磁気素子においては、それぞれの設計に応じて最適な透磁率が変化するため、高周波数領域において薄膜インダクタ等の磁気素子に適した高透磁率を実現するには、磁性膜面内で一軸磁気異方性を有すること、また異方性磁場の制御性を有することが必要である。

【0005】また、高周波低損失を実現するためには渦電流損を低減する必要がある、このためには磁性層の薄層化が有効である。磁気素子の設計上必要な膜厚が渦電流損の低減の観点からは厚すぎる場合には、複数の薄層化された磁性層の間に高抵抗率の層を挿入することが有効である。この層は抵抗率が高く、絶縁耐圧が高く、誘電率が低いことが望ましい。

【0006】さらに、薄膜インダクタ等の磁気素子は、磁性膜の飽和磁化が高いほど、扱える電力の増大や飽和電流の増大が期待できるため、高飽和磁化も薄膜インダクタ等の磁気素子用の磁性膜にとっては必要である。

【0007】なお、薄膜磁気ヘッド等においても、記録密度の増大と媒体の高保磁力、高エネルギー積化および動作周波数の高周波化に伴って、高周波数領域において低損失かつ高飽和磁化を兼ね備えた磁性膜が有効なのは言うまでもない。これらの要求はその他の磁気素子においても一般に共通するものである。

【0008】一方、磁気素子の製作プロセスにおいては、磁性膜や積層磁性膜のプロセス適合性が問題となる。一般の薄膜プロセス技術を用いて基板上に多数の磁気素子を形成する際、電極形成や磁性膜のスリット形成、貫通孔形成、各素子分離、設計磁気回路の実現等を目的として、磁性膜をバターンニングする必要が生じる。バターンニングは一般に各種手法でマスクを形成した後、ドライエッチングやウェットエッチングにより行われる。特に量産性を考慮した場合、設備が低廉であり、かつ実生産においても大量に安定かつ容易にエッチングが実現できるという点から、ウェットエッチングがより好ましい。高飽和磁化を有する磁性層は、一般に金属原子が組成の大部分を占めるため、対応するエッチャントの

種類やエッチングの速度の点ではほとんど問題がない。

【0009】しかし、積層磁性膜を形成する場合の磁性層間に介在させる絶縁層の構成材料には、共有結合性やイオン結合性の強い材料が多く、ウェットエッチング性が低いことが多い。例えば、層間絶縁層として一般的に用いられている SiO_2 は、良好な絶縁性を比較的簡単に得られる優秀な絶縁層であるが、ウェットエッチングの際にHF等の危険で特殊なエッチャントが必要とされるため、プロセス適合性が不十分である。

【0010】他方、積層磁性膜の層間絶縁層には、磁性層と反応性が低いことも要求される。積層磁性膜の磁性層材料は適用インダクタ等の仕様に依りて、自発磁化の最適化や保磁力の最小化がなされるのが普通である。これに対して、積層磁性膜が構成要素となる磁気素子を各種薄膜プロセスで作製する際には、磁性層自身や上下の各種材料の成膜時、あるいは樹脂材料の硬化過程時において、磁気素子基板自体が高温になる。また、積層磁性膜の磁気特性を制御するために、熱処理を施す場合が多い。これらの高温プロセスに対して、層間絶縁層は磁性層との反応を最小に抑え、軟磁性や高自発磁化を阻害する界面層の形成や原子の相互拡散が実用上無視できるものを選択する必要がある。

【0011】前述の高周波透磁率の精密な制御、すなわち面内の軸磁気異方性の精密な付与・制御の観点からも、本来の磁性層構成元素以外の元素の磁性層へのコンタミネーションは磁気異方性誘導に無視できない影響を与える。よって、磁気特性特に磁気異方性の精密な制御の観点から、層間絶縁層には特段に優れた磁性層との非反応性が要求される。しかし、例えばZr、Ta、Nb等の酸化物は絶縁性には優れたものの、上述したような高温プロセス時に磁性層と反応し、磁性層の特性劣化等をもたらすおそれ大きい。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、薄膜インダクタ等の平面型磁気素子を小型・高性能化するために、それに用いられる磁性膜には1MHz以上の高周波数領域において、低損失かつ高飽和磁化であることが要求されている。そして、このような要求特性を満足させる上で、例えば高周波低損失の実現に対しては薄層化した磁性層を層間絶縁層を介して積層することが有効であるものの、従来用いられていた層間絶縁層のうち SiO_2 は量産性に優れたウェットエッチングへの適合性が低いという欠点を有している。一方、Zr、Ta、Nb等の酸化物は、高温プロセス時に磁性層との間で拡散等が生じ、磁性層の特性劣化等をもたらすおそれ大きいという欠点を有している。

【0013】このように、平面型磁気素子等の製作プロセスを考慮すると、積層磁性膜を構成する層間絶縁層には、量産性等に優れたウェットエッチングへの適合性と、磁性層との優れた非反応性の双方が要求されるが、

上述したように従来の層間絶縁層材料はこれら要求特性を全て満足するまでには至っていない。このようなことから、磁性層の高飽和磁化、軟磁性、面内一軸磁気異方性の付与・制御性を保持しつつ、ウェットエッチングが可能で、かつ高温プロセスを経ても磁性層と反応しない層間絶縁層が切望されている。

【0014】本発明は、このような課題に対処するためになされたもので、磁性層の高飽和磁化、軟磁性、面内一軸磁気異方性の付与・制御性を保持しつつ、ウェットエッチングが可能である共に、磁性層との反応性が極めて低く、高抵抗率で低誘電率の絶縁層を有する積層磁性膜、およびそれを用いた平面型磁気素子を提供することを目的としている。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の積層磁性膜は、請求項1に記載したように、面内で一軸磁気異方性を有する磁性層と、前記磁性層に当接して積層配置されたMqおよびOを主成分とする絶縁層とを具備すること、あるいは請求項2に記載したように、主構成元素としてFe、Co、Bおよび4B族元素を含有する磁性層と、前記磁性層に当接して積層配置されたMq、OおよびOを主成分とする絶縁層とを具備することを特徴としている。本発明の積層磁性膜で層間絶縁層等として用いられるMqおよびOを主成分とする絶縁層は、ウェットエッチング性に優れるため、量産化に対応可能であると共に、Fe-Co-B-4B族系非晶質磁性層をはじめとする各種の磁性層に対して優れた非反応性を有することから、薄膜インダクタ等の平面型磁気素子に必須の面内一軸磁気異方性の付与・制御特性、保磁力、自発磁化等の磁気特性を実用上損ねることがない。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施するための形態について説明する。

【0017】図1、図2および図3は、それぞれ本発明の積層磁性膜の実施形態を示す図であり、これらは平面インダクタや平面トランス等の平面型磁気素子の軟磁性膜等として用いられるものである。これらのうち、図1は本発明の積層磁性膜の最低限必要な構成単位を示す図であり、1は面内で一軸磁気異方性を有する磁性層であり、この磁性層1に当接してMqおよびOを主成分とする絶縁層（以下、Mq-O系絶縁層と記す）2が積層配置されている。なお、図1中3は基板であり、図1に示す積層磁性膜中のMq-O系絶縁層2は、例えば下地層やバッファ層等として機能するものである。

【0018】図2は、面内一軸磁気異方性を有する磁性層1とMq-O系絶縁層2とを順に積層した繰返し構造を有する積層磁性膜であり、繰返し積層回数は任意に設定することができる。このような薄層化した磁性層1を層間絶縁層として機能するMq-O系絶縁層2を介して積層した積層磁性膜は、前述したように高周波低損失の実現

等に対して有効である。

【0019】なお、図3に示すように、本発明の積層磁性膜は磁性層1とMq-O系絶縁層2以外に、これらとは異なる第3の層4等を構成要素として含んでいてもよい。また、これら以外の構造を採用することも可能であり、本発明の積層磁性膜は磁性層1とそれに当接して積層配置されたMq-O系絶縁層2とを有すれば種々の形態を探ることができる。

【0020】上述した各積層磁性膜においては、高飽和磁化と軟磁性を兼ね備えた磁性層1として面内一軸磁気異方性の付与・制御性の高い軟磁性材料が用いられ、後述するような方法で面内一軸磁気異方性が付与される。このような磁性層1としては、例えばFe、Co、Bおよび4B族元素を主構成元素として含む非晶質磁性層や、同様な元素により構成される微結晶相と非晶質相との混相からなる磁性層等が例示される。なお、4B族元素としてはC、Si、Ge、Sn等から選ばれる1種または2種以上の元素が用いられる。これらはいずれも良好な軟磁性と高自発磁化が得られる磁性層であり、特に本発明に好適な磁性層である。ただし、本発明においてはFe-Co-Sn系微結晶磁性層等、他の各種の磁性層を用いることが可能である。

【0021】Mq-O系絶縁層2は、量産化プロセス等に適合した優れたウエットエッチング性を有し、かつ絶縁層としての基本的な特性である高抵抗率および低誘電率を有するものである。これらの特性を満足した上で、Mq-O系絶縁層2はFe-Co-B-4B族系非晶質磁性層をはじめとする各種の磁性層1に対して十分な付着力を示し、かつ磁性層1に対してほとんど影響を及ぼさないという特性を有する。薄膜インダクタ等の平面型磁気素子の作製プロセスでは、磁性層1の成膜時、磁性層1と界面を接する層の成膜時、熱処理時等において、絶縁層2から磁性層1に拡散が生じやすいが、Mq-O系絶縁層2を用いた場合には、実用上拡散による磁気特性への影響を無視することができる。これは、Fe-Coに対してMqがほとんど固溶しないこと、またMqがFe-Coに比較して酸化されやすく、酸素自身も拡散しにくいためであると考えられる。

【0022】界面での拡散は、付着力の観点からは一般に好ましいが、例えばFe-Co-B-4B族系磁性材料は十分な軟磁性化が図られた材料であるため、異種元素の拡散や同種元素の拡散による組成比変化は軟磁性を阻害したり、また飽和磁化の減少が生じる。さらに、軟磁性劣化等が致命的でない場合でも、後述する磁場で熱処理等による一軸磁気異方性の付与・制御の際に、誘導磁気異方性の大きさ、誘導磁気異方性の熱処理温度依存性、反応時間に影響を与える活性化エネルギー等が拡散によって変化する。これらは正確で理論的に明かな異方性制御を困難にする。

【0023】これは以下の理由による。Fe-Co-B-4B族系磁性材料は方向性規則配列の理論に準じた誘導磁気異方

性を発生させ得るが、十分な時間の熱処理後に得られる誘導磁気異方性は熱処理温度の関数である。一方、界面の拡散が顕著な場合、拡散状態も熱処理温度によって変化するため、温度によって磁性層1の組成比まで変化し、通常の方向性規則配列の理論では正確な異方性制御が行えなくなる。これはFe-Co-B-4B族系磁性材料以外の磁性層にも共通する現象である。

【0024】また、Fe-Co-B-4B族系磁性材料は、軟磁性膜としては例外的に磁歪が大きく、方向性規則配列以外にも磁歪を介して磁気弾性エネルギーを制御する機構、すなわち磁気歪み拘束効果による面内磁気異方性制御が可能である。これらの異方的応力の導入は、成膜時の磁場印加や基板自身への異方的応力印加、磁性膜の異方的なバターンニングによる応力の異方的な解放等によって制御される。これらの面内磁気異方性制御においても、磁歪定数変化によって異方性エネルギーが変化する。磁歪定数は組成敏感であり、絶縁層元素の拡散は磁歪定数の変化、すなわち異方性エネルギー変化をもたらす。この点からも磁性層1との界面で拡散を実質的に生じることがないMq-O系絶縁層2は有効である。

【0025】このようなことから、Mq-O系絶縁層2を磁性層1と当接する層間絶縁層等として用いた場合には、薄膜インダクタ等の平面型磁気素子に必須の磁気異方性付与・制御において、本来の磁性層1の磁気異方性制御特性、保磁力、自発磁化等の磁気特性を実用上損ねることがない。

【0026】また、Mq-O系絶縁層2には、Mq以外の金属元素を一定量添加したり、酸素以外の非金属元素を一定量添加したり、あるいはこれら両者を複合添加することによって、絶縁層2の成膜時に導入される膜応力や付着力、線膨張係数や膜の微細構造等の膜質を制御してもよい。これらMq-O系絶縁層2の物性は、積層磁性膜のみの段階では磁気特性にあまり大きな影響を与えないが、薄膜インダクタ等の平面型磁気素子（薄膜磁気デバイス）に組込んだ際には、プロセス適合性やデバイス電磁気特性の観点から特に重要となる。ただし、この場合には酸素を代表とする非金属元素の磁性層1中への拡散を可能な限り抑えるために、酸素を含む非金属元素（5B族、6B族、7B族に含まれる元素）の各元素のイオン原子価の絶対値とモル濃度の積の総和NMが、Mqを含む金属元素（1A族、2A族、3A族、4A族、5A族、6A族、7A族、8族、1B族、2B族に含まれる元素）の各元素のイオン原子価とモル濃度の積の総和M以下（ $NM \leq M$ ）の組成とすることが好ましい。

【0027】Mq-O系絶縁層2へのMq以外の添加金属元素としては、MqOのNaCl型結晶構造を崩しにくく、磁性層1への拡散が生じて磁性層1の磁気特性変化が僅少であるという点から、FeおよびCoから選ばれる少なくとも1種とすることが特に好ましい。高自発磁化の軟磁性膜は一般にFe系またはFe-Co系であるため、FeやCoをMq-O

系絶縁層2に添加した場合には、これら添加元素の拡散による磁性層1の組成変化は実質的に無視できる場合が多い。拡散による磁気特性ダメージが小さいということは、磁気デバイスの作製プロセス上においても、Mgのみよりも付着力がより得やすく、また磁気特性ダメージに対する付着力増強のための熱処理による効果の比を高くとることができる。

【0028】ただし、NaCl型のFe-O相は高温相であり、NaCl型のCo-O相も不安定な相である。さらに、Feが非常に過剰に含まれる場合、低温側で反強磁性になる可能性がある。よって、結晶構造の安定した維持と絶縁層2として磁性を避ける観点から、Mg-O系絶縁層2に添加するFeおよびCoのモル数の和はMgのモル数を超えないことが望ましい。また、その他の元素を上記のように付着力強化、応力制御、膜質改善等の目的で添加する場合においても、添加元素の組成比の総和がMgの組成比を超えないことが望ましいことは言うまでもない。なお、実際の添加量としては1~10モル%程度とすることが好ましい。

【0029】Mg-O系絶縁層2におけるMgとOの組成自身も、安定したMg結晶構造の確保や拡散防止の観点から、絶縁層2中のMgのモル数とOのモル数の比が1に近いことが望ましく、具体的には $0.9 \leq (\text{Mgのモル数}) / (\text{Oのモル数}) \leq 1.1$ であることが好ましい。

【0030】上述した磁性層1およびMg-O系絶縁層2は、スパッタ法、真空蒸着法、MBE法、イオンプレーティング法、レーザデポジション法、CVD法等の各種薄膜形成法により作製されるものである。磁性層1の厚さは特に限定されるものではないが、渦電流損の低減等の点からは $5\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましく、また必要な磁束総量を実用的な積層膜厚と積層数で実現させるという点からは $0.5\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。積層厚および積層数の過度の増加は、薄膜磁気素子の磁気回路設計上の最適化を困難にし、かつ作製プロセスの複雑化や高コスト化を招く。

【0031】Mg-O系絶縁層2の厚さは、層間絶縁層として用いることを考慮すると50nm以上とすることが好ましい。層間絶縁層の厚さが薄くても、ある程度の高周波特性の改善効果は得られるものの、薄膜インダクタ等として実用的な特性を得るためには50nm以上、さらに3MHz以上の励磁周波数の薄膜インダクタ等においては100nm以上とすることが望ましい。なお、渦電流損を中心に考えると、Mg-O系絶縁層2の厚さは厚いほど優れるが、磁気素子としての磁路の最適化や必要な磁性膜としての総厚を考慮すると、適度な値の領域が各磁気素子の設計に応じて存在することは言うまでもない。平面型磁気素子として高自発磁化の金属膜を想定した場合、磁性層1の各層の厚さは $0.5\mu\text{m}$ 程度から $5\mu\text{m}$ 程度であるため、これらの層間絶縁層として形成するMg-O系絶縁層2の厚さは、 $0.1\mu\text{m}$ 程度から $1\mu\text{m}$ 程度が最適領域になること

が多い。

【0032】ところで、従来の軟磁性膜は一般に磁化が低く、今後自発磁化を増加させていくためにはFe系やFeリッチのFe-Co系に移行する必要がある、高磁歪化が避けられない。これら高自発磁化、高磁歪の積層軟磁性膜においても、層間絶縁層としてMg-O系絶縁層2を用いることが良好な磁気特性実現の手段となる。

【0033】上述したような積層磁性膜には、以下に示すような方法によって一様な面内一軸磁気異方性を付与する。一般には磁場中熱処理が適しているが、一軸磁気異方性を付与する時期や方法は特に限定されるものではない。前述したように、積層時の磁性層の磁場中成膜、磁性膜成膜直後の磁場中熱処理、磁気素子作製後の磁場中熱処理等を適用してもよいし、積層前の基板形状や積層前後の応力導入、積層後の各種エッチングによるパターンニング等の機械的方法を適用することも可能である。磁場中熱処理としては、傾斜磁場中熱処理や垂直磁場中熱処理も適当である。これらにより、高周波励磁に適した磁化困難軸励磁が可能になる。また、前述のMg-O系絶縁層2を採用したことで、熱処理等の拡散の生じ易い過程においても、磁気特性の劣化は実用上生じない。

【0034】上述したように、積層磁性膜の層間絶縁層等としてMg-O系絶縁層2を用いることによって、実用上十分なエッチング性を有し、かつ制御性の優れた一軸磁気異方性を有する磁性層1を具備する積層磁性膜、すなわち高周波低損失、高飽和磁化、軟磁性の積層磁性膜が得られる。さらに、このような積層磁性膜を薄膜インダクタ等の平面型磁気素子用の軟磁性体として用いることで、各種平面型磁気素子に要求される最適な磁気特性を有する軟磁性体が提供でき、優れた電磁気特性を有する平面型磁気素子が実現可能となる。本発明の平面型磁気素子は、薄膜インダクタや薄膜トランスに限らず、薄膜磁気ヘッドに適用することも可能である。以上のように、少なくともMgおよびOを主成分とする絶縁層2は、薄層化された磁性層1の層間絶縁層等に適した材料であり、この絶縁層2を面内一軸磁気異方性を有する磁性層1に当接して積層配置した積層磁性膜は、高飽和磁化、低損失および面内一軸磁気異方性の付与・制御性を有しつつ、かつウエットエッチングが可能である。これにより、制御性に優れ、磁性材料の特性を十分活用した高飽和磁化軟磁性膜、および該磁性膜を用いて磁性体の能力を最大限に利用した最適設計の平面型磁気素子（薄膜磁気素子）が提供可能となる。

【0035】

【実施例】次に、本発明の具体的な実施例について述べる。

【0036】実施例1~6、比較例1~4

表1に示す条件で各種絶縁層を成膜した。また、表2に示す条件で各種磁性層を成膜した。なお、各層の単体としての物性は、熱酸化膜付きSiウエハを基板として各層

を単体で成膜し、評価した値である。

【0037】これら各種磁性層および絶縁層を用いて、表3に示す組合せの積層磁性膜をそれぞれ作製した。なお、磁性層および絶縁層共に成膜直前に、下地基板をArガスによるドライエッチングでクリーニングした。また、各層を積層した後、各試料に共通で真空雰囲気中にて直流磁場中熱処理（印加直流磁場:128kA/m、熱処理温度:596K、熱処理時間:10800sec）を施した。熱処理磁場*

*は膜面に平行に印加した。なお、試料形状は10mm×10mmである。

【0038】得られた各積層磁性膜に対しては、インダクタンス法による高周波透磁率の測定と、振動試料型磁力計による磁化曲線測定を行った。

【0039】

【表1】

共通条件	成膜形式	R F マグネトロンスパッタリング
	R F パワー	300W
	ターゲット径	76.2mmφ
絶縁層1	ターゲット	MgO焼結ターゲット
	スパッタリングガス	Ar0.4Pa
	膜厚	0.15μm
	X線回折結果	MgO(NaCl型) ピーク観察
絶縁層2	ターゲット	MgO焼結ターゲット + Feチップ(2mm角) × 3p(ターゲット比1:1)
	スパッタリングガス	Ar0.4Pa
	膜厚	0.15μm
	X線回折結果	MgO(NaCl型) ピーク観察
絶縁層3	ターゲット	MgO焼結ターゲット + Fe ₃ Co ₁ チップ(2mm角) × 3p(ターゲット比1:1)
	スパッタリングガス	Ar0.4Pa
	膜厚	0.15μm
	X線回折結果	MgO(NaCl型) ピーク観察
絶縁層4	ターゲット	MgO焼結ターゲット
	スパッタリングガス	Ar0.4Pa
	膜厚	0.04μm
	X線回折結果	MgO(NaCl型) ピーク観察
絶縁層5	ターゲット	MgO焼結ターゲット
	スパッタリングガス	Ar0.4Pa + O ₂ 0.2Pa(計0.4Pa)
	膜厚	0.15μm
	X線回折結果	MgO ₂ ピーク観察
絶縁層6	ターゲット	Taターゲット
	スパッタリングガス	Ar0.1Pa + O ₂ 0.3Pa(計0.4Pa)
	膜厚	0.15μm
絶縁層7	ターゲット	Nbターゲット
	スパッタリングガス	Ar0.1Pa + O ₂ 0.3Pa(計0.4Pa)
	膜厚	0.15μm
絶縁層8	ターゲット	SiO ₂ ターゲット
	スパッタリングガス	Ar0.35Pa
	膜厚	0.15μm

【表2】

共通条件	成膜形式	R.Fマグネトロンスパッタリング
	R.Fパワー	600W
	ターゲット径	127mmφ
磁性層1	ターゲット	Fe-Co-B-C焼結ターゲット
	スパッタリングガス	Ar0.93Pa
	膜厚	1.5μm
	成膜後組成	Fe ₅₉ Co ₂₁ B ₁₆ C ₄
	成膜後結晶構造	非晶質
	成膜後自発磁化	1.58T
磁性層2	ターゲット	Fe-Co-B-C焼結ターゲット +Siチップ(2mm角)×4p(ターゲット比覆)
	スパッタリングガス	Ar0.2Pa
	膜厚	1.5μm
	成膜後組成	Fe ₅₉ Co ₂₁ B ₁₆ C ₄ Si ₁
	成膜後結晶構造	非晶質
	成膜後自発磁化	1.45T
磁性層3	ターゲット	Fe-Co-B-C焼結ターゲット +Snチップ(2mm角)×4p(ターゲット比覆)
	スパッタリングガス	Ar0.2Pa
	膜厚	1.5μm
	成膜後結晶構造	結晶質+非晶質
	成膜後自発磁化	2.00T

【表3】

	積層磁性膜構造
実施例1	磁性層1/絶縁層1/磁性層1/熱酸化 SiO ₂ /Si(100) ウエハ
実施例2	磁性層2/絶縁層1/磁性層2/熱酸化 SiO ₂ /Si(100) ウエハ
実施例3	磁性層3/絶縁層1/磁性層3/熱酸化 SiO ₂ /Si(100) ウエハ
実施例4	磁性層1/絶縁層2/磁性層1/熱酸化 SiO ₂ /Si(100) ウエハ
実施例5	磁性層1/絶縁層3/磁性層1/熱酸化 SiO ₂ /Si(100) ウエハ
実施例6	磁性層1/絶縁層4/磁性層1/熱酸化 SiO ₂ /Si(100) ウエハ
比較例1	磁性層1/絶縁層5/磁性層1/熱酸化 SiO ₂ /Si(100) ウエハ
比較例2	磁性層1/絶縁層6/磁性層1/熱酸化 SiO ₂ /Si(100) ウエハ
比較例3	磁性層1/絶縁層7/磁性層1/熱酸化 SiO ₂ /Si(100) ウエハ
比較例4	磁性層1/絶縁層8/磁性層1/熱酸化 SiO ₂ /Si(100) ウエハ

まず、実施例1による積層磁性膜の磁化曲線を図4に示す。なお、図5は磁化困難軸方向の磁化曲線の拡大図である。磁性層の自発磁化I_sは1.58Tであった。このように、熱処理に対して自発磁化は保存された。また、高周波励磁に重要な磁化困難軸保磁力として5.3A/m、異方性磁場として200A/mが得られた。

【0040】また、実施例1の高周波透磁率を図6に示す。なお、高周波透磁率は正確な校正が難しいため、真値に対して測定値は1/2～2程度のファクタを有する可能性がある。ただし、高周波透磁率の実数部μ_{r,real}と虚数部μ_{r,imag}の比であるtanδおよびtanδの逆数であるQ値はファクタに依存しない。図6に示すように、平坦な実数部を有する優れた高周波特性が得られた。また、Q値として5MHzで24.9、10MHzで14.1の値が得られた。Q値は10以上であることが実用上望ましい。

【0041】実施例1は、硝酸、塩酸のそれぞれ、およ

び硝酸、塩酸、燐酸の混酸を用いたエッチングにより基板上から消失することが確認された。例えば、硝酸1、純水9の割合で混合した酸溶液を室温でステアした状態に保ち、実施例1の積層磁性膜を浸したところ、1分以内で消失した。実施例2、3、4、5、6についても同様にエッチングされることが確認された。

【0042】一方、絶縁層としてSiO₂層を用いた比較例4の積層磁性膜は基板上から消失しなかった。これは層間絶縁層としてSiO₂を用いた場合には優れた加工性（ウェットエッチング性）が得られず、本発明による絶縁層では優れた加工性が得られることを示すものである。

【0043】また、実施例2、3の各積層磁性膜の自発磁化は、熱処理後も測定精度の範囲内で変化しないことが確認された。実施例2の磁化困難軸保磁力は10A/m、10MHzのQ値は42であった。実施例3の磁化困難軸保

磁力は 70A/m、10MHzのQ値は11であった。これは、本発明の積層磁性膜の構成要素である磁性層が非晶質や結晶質等の異った結晶構造であっても、また異った磁性層元素の組合せであっても、本発明が有効であることを示すものである。

【0044】実施例4、実施例5、実施例6の各積層磁性膜の熱処理後の自発磁化変化は、熱処理前の自発磁化を100%とした場合に1%以下であった。磁化困難軸保磁力および異方性磁場についても実施例1の値を100%とした場合に、実施例1の値に3%以内の差で一致した。これらは実用上変化しない場合と同等と考えられる。また、127mm径のSiウエハ上に作製した実施例4、5の各積層磁性膜について、ダイサーを用いて5mm角に分割したところ、磁性層と層間絶縁層の界面での剥離は観察されなかった。これらは本発明における層間絶縁層がMgおよびOに加えて、Fe、Coを含む場合に良好な積層磁性膜が得られることを示すものである。

【0045】次に、実施例6の積層磁性膜の透磁率の高周波特性を図7に示す。このように、層間絶縁層の厚を50nm以下とした実施例6の積層磁性膜では、良好な磁気特性は得られたものの、Q値が2MHzで25.0、5MHzで8.8であり、図6に示した実施例1と比較すると劣るものであった。実施例6程度の厚さの層間絶縁層では2MHz程度での励磁が実用上限界であり、2MHz前後の周波数での高性能化、あるいは2MHz以上での使用に関しては、実施例1のように、より厚い層間絶縁層を用いることが好ましいことが分かる。

【0046】一方、比較例1は熱処理後の磁化困難軸保磁力が200A/m以上に劣化した。この値は比較例1では十分な軟磁性が得られないことを示すものである。これは層間絶縁層が過剰に酸素を有する場合、熱処理によって磁性層の特性が劣化することを示すものである。

【0047】比較例2、比較例3の熱処理後の磁化困難軸保磁力は、それぞれ79A/m、230A/mであった。これらは磁性層本来の優れた軟磁性を劣化させるものである。また、異方性磁場についても、比較例2および比較例3共に300~400A/mの値を示し、磁性層の本来の特性を利用した磁気異方性制御が不可能になることが分かった。

【0048】以上の各実施例および比較例に示したように、本発明の実施例による積層磁性膜は、実用上十分なエッチング性を有し、かつ軸磁気異方性を有し、高周波低損失、高飽和磁化、軟磁性に優れることが確認された。また、比較例においては磁気特性が層間絶縁層の種類により変化し、比較例では十分な積層磁性膜が得られないことが確認された。

【0049】実施例7

次に、本発明の平面型磁気素子の実施例について述べる。前述した実施例1に用いた磁性層1と絶縁層(ただし、厚さは0.35 μ mに変更/絶縁層9)とを用いて、図

8に示す薄膜インダクタ11の下部軟磁性膜12および上部軟磁性膜13を作製した。ここで、図8に示す薄膜インダクタ11は、ダブルスパイラル型の平面型コイル14の両主面に、下部軟磁性膜12および上部軟磁性膜13を積層形成して構成したものであり、平面型コイル14と軟磁性膜12、13との間はそれぞれ絶縁層15によって絶縁されている。

【0050】上記薄膜インダクタ11の具体的な製造例について、以下に述べる。まず、Si(100)ウエハ上に下部軟磁性膜12を形成した。下部軟磁性膜12は、絶縁層(9)と磁性層(1)を順に繰り返し積層することによって形成した。下部軟磁性膜12の具体的な構成は、Si(100)ウエハ/絶縁層9/磁性層1/絶縁層9/磁性層1/絶縁層9/磁性層1/絶縁層9/磁性層1/絶縁層9/磁性層1/絶縁層9とした。次に、この下部軟磁性膜12上にCuメッキで平面型コイル14を作製した。メッキ用の下地電極はスパッタリングで形成した。また、絶縁層15にはポリイミド樹脂とSiO₂を用い、それぞれスピンコートとスパッタリングで形成した。平面型コイル14および絶縁層15のパターニングは、フォトリソグラフィプロセスでパターンに応じたマスクを転写し、実施例1~6と同様に酸液でウエットエッチングすることで行った。この後、絶縁層15に絶縁層(9)と磁性層(1)を順に繰り返し積層することによって、上部軟磁性膜13を形成した。下部軟磁性膜12の具体的な構成は、Si(100)ウエハ/絶縁層9/磁性層1/絶縁層9/磁性層1/絶縁層9/磁性層1/絶縁層9/磁性層1/絶縁層9/磁性層1/絶縁層9とした。

【0051】なお、下部軟磁性膜12および上部軟磁性膜13は、図8(c)に示すように、渦電流抑制の観点から積層した後、面内の分割を行った。図8(c)における16は分割線である。この下部軟磁性膜12および上部軟磁性膜13の1素子内での分割、および素子毎の分離についても、上記平面型コイル14等のパターニングと同様に、酸液を用いたウエットエッチングにより行った。

【0052】このようにして得た薄膜インダクタ11のインダクタンスLと品質係数Qの周波数特性を図9に示す。図9から明らかなように、10MHzまではほぼ平坦なインダクタンスが得られ、かつ3MHz付近で約15の品質係数Qが得られ、薄膜インダクタとして良好な特性を有していることを確認した。

【0053】なお、上記実施例7では本発明の平面型磁気素子を薄膜インダクタに適用した例について説明したが、本発明はこれに限らず、薄膜トランスや薄膜磁気ヘッド等に適用することも可能である。

【0054】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、高飽和磁化、低損失、面内軸磁気異方性の付与・制御性を有しつつ、かつウエットエッチングが可能な積層磁性膜を提供することができる。そして、このような積層磁

性膜を用いた本発明の平面型磁気素子によれば、小型・高性能化を達成した上で、量産化が容易となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の積層磁性膜の一実施形態を示す断面図である。

【図2】 本発明の積層磁性膜の他の実施形態を示す断面図である。

【図3】 図2に示す積層磁性膜の変形例を示す断面図である。

【図4】 本発明の実施例1による積層磁性膜の磁化曲線を示す図である。

【図5】 図4に示す磁化困難軸方向の磁化曲線の拡大図である。

【図6】 本発明の実施例1による積層磁性膜の実施例*

* 1の高周波透磁率を示す図である。

【図7】 本発明の実施例6による積層磁性膜の実施例1の高周波透磁率を示す図である。

【図8】 本発明の実施例7で作製した薄膜インダクタを示す図である。

【図9】 図8に示す薄膜インダクタのインダクタンスおよび品質係数Qの周波数特性を示す図である。

【符号の説明】

1 ……磁性層

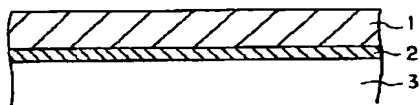
2 ……Mg-O系絶縁層

1 1 ……薄膜インダクタ

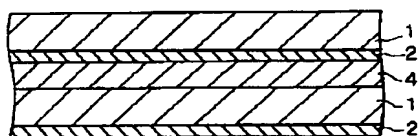
1 2、1 3 ……積層磁性膜からなる軟磁性膜

1 4 ……平面型コイル

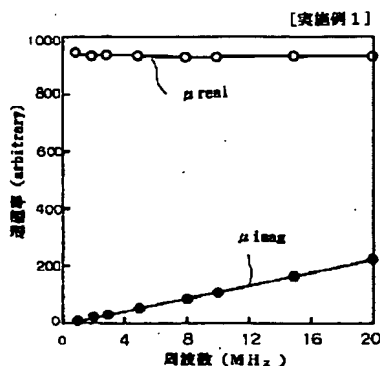
【図1】



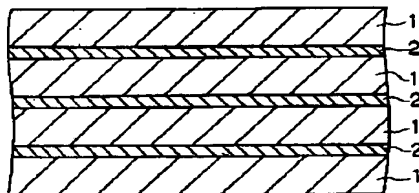
【図3】



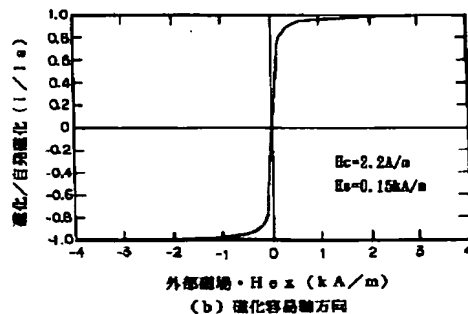
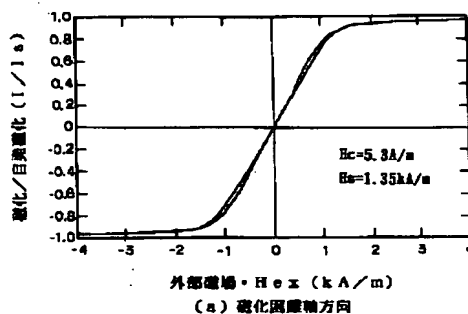
【図6】



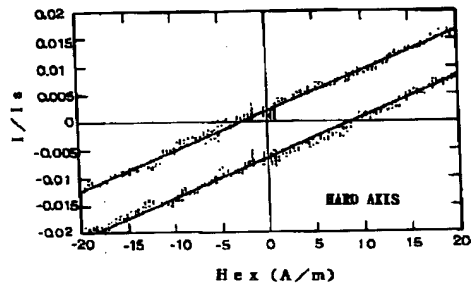
【図2】



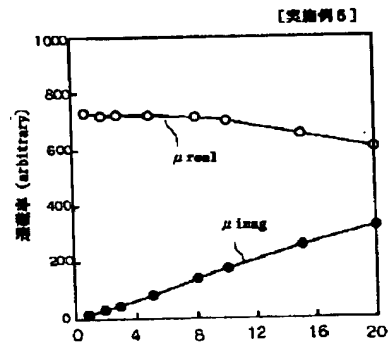
【図4】



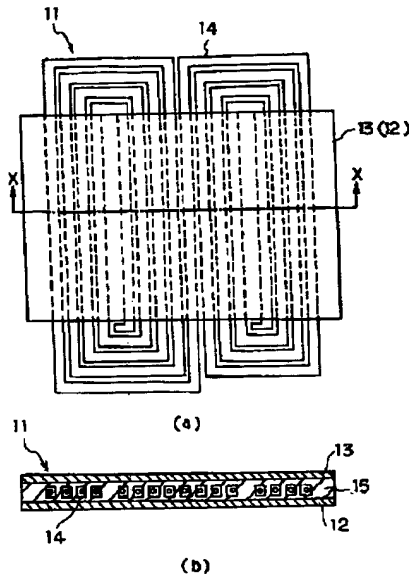
【図5】



【図7】



【図8】



【図9】

